

**МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЛИАЛ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА В ГОРОДЕ СЕВАСТОПОЛЕ
НЕПРАВИТЕЛЬСТВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФОНД
ИМЕНИ В.И. ВЕРНАДСКОГО**

**Российская экологическая Академия
Крымское региональное отделение**

**Русское географическое общество
Севастопольское отделение**

**Институт географии РАН
Российской Федерации**



**НЕПРАВИТЕЛЬСТВЕННЫЙ
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФОНД
ИМЕНИ В.И. ВЕРНАДСКОГО**

МАТЕРИАЛЫ

I МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФОРУМ В КРЫМУ



**«Крым
эколого-экономический
регион. Пространство
ноосферного развития»**

при поддержке фонда
РФФИ (проект №
17-05-20261)



Г. СЕВАСТОПОЛЬ. 20 - 24 ИЮНЯ 2017 ГОДА

Литература

1. Гулин С.Б., Терещенко Н.Н., Проскурнин В.Ю. Радиоэкологическое значение плутония-241 и методика его определения в объектах окружающей среды // Зб. наук. праць СНУАЕтаП. – Екологічна безпека. – Севастополь: СНУАЕтаП, 2010. – Вип. 2 (34). – С. 88–95.
2. Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Под ред. Г.Г.Поликарпова и В.Н. Егорова. – Севастополь: «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2008. – 667с.
3. Терещенко Н.Н. Содержание трансурановых элементов Pu, Am, Cm в донных отложениях и прилегающих почвах в ближней зоне ЧАЭС и на юге Украины / Радиоэкология: успехи и перспективы. – Севастополь. – 1996. – С.177–182.
4. Н.Н. Терещенко, С.Б. Гулин, В.Ю. Проскурин Радиоэкологические закономерности перераспределения альфа-радионуклидов плутония в экосистеме Черного моря // Морской биологический журнал. – 2016, Том 1, № 3, с. 3–13.
5. Трансурановые элементы в окружающей среде / Под ред. Т. Хенсона. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 344 с.
6. Artificial radioactivity of the Black Sea. UNESCO Reports in Marine Science 59. 6 Nov. 1993. – UNESCO, 1993. – P. 46–77.
7. Hardy E.P., Krey P.W., Nolph H.L. Global Inventory and Distribution of Fallout Plutonium // Nature. – 1973. – Vol. 241, № 5390. – P. 444–445.
8. Topcuo lu S., Güng r N., Kırbaşo lu Ç. Distribution coefficients (Kd) and desorption rates of ¹³⁷Cs and ²⁴¹Am in Black Sea sediments // Chemosphere, 2002. – 49. - P. 1367–1373.

УДК 504.054(262.5)

РАДИОЭКОЛОГИЯ ТЕХНОГЕННЫХ АЛЬФА-ИЗЛУЧАЮЩИХ РАДИОИЗОТОПОВ ПЛУТОНИЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ

Терещенко Н.Н.

*ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. В.О. Ковалевского РАН»,
Севастополь, Россия*

Аннотация. Проведены исследования и анализ данных в области радиоэкологии альфа-излучающих радиоизотопов плутония ^{239,240}Pu в Черном море в постчернобыльский период. Определены количественные характеристики их перераспределения в компонентах экосистем моря, включая уровни загрязнения, аккумуляционную способность отдельных компонент, период эффективного полууменьшения Pu в поверхностных водах, его седиментационные потоки. На примере прибрежной акватории сделана оценка вклада в вынос плутония из фотического слоя вод седиментационными потоками в осадки, движением водных масс и посредством аккумуляции гидробионтами. Выявлено ряд особенностей радиоэкологических закономерностей и биогеохимического поведения плутония в экосистеме Черного моря. Установлено, что специфика биогеохимического поведения плутония, обусловлена, с одной стороны, характеристиками водоема, а с другой стороны, физико-химическими свойствами самого плутония. Полученные результаты позволили предложить схему оценки текущей и прогностической радиоэкологической ситуации акваторий моря в отношении изученных радионуклидов ^{239,240}Pu по биогеохимическим и эквидозиметрическим критериям.

Ключевые слова: альфа-излучающие радиоизотопы плутония (^{239,240}Pu), перераспределение в компонентах экосистемы, оценка радиоэкологической ситуации акваторий, биогеохимический и эквидозиметрический критерии, Черное море.

RADIOECOLOGY OF TECHNOGENIC PLUTONIUM ALPHA-EMITTING RADIOISOTOPES IN THE BLACK SEA

Tereshchenko N.N.

*The A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of RAS,
Sevastopol, Russian Federation*

Abstract. Research and analysis of data in the field of the plutonium alpha-emitting radioisotopes $^{239,240}\text{Pu}$ radioecology in the Black Sea in post-Chernobyl period were conducted. The quantitative characteristics of their redistribution in components of the sea ecosystems were identified, including levels of contamination, and accumulation ability of the individual components, the effective half-life of Pu in surface waters, its sedimentation fluxes. For example, in coastal water area has been estimated contribution to the removal of plutonium from photic sea-water layer with sedimentation fluxes to the bottom sediment, with the movement of water masses and accumulation by hydrobionts. It revealed some features of radioecological regularities and biogeochemical behavior of plutonium in the Black Sea ecosystem. It was found that the specificity of the biogeochemical behavior of plutonium, on the one hand, depended on the characteristics of the sea, on the other hand, on the physical-chemical properties of plutonium itself. The results provided an opportunity to propose an evaluation scheme of the current and forecast radioecological situations of the sea areas against the studied radionuclides based on biogeochemical and equidosimetric criterions.

Keywords: alpha-emitting radioisotopes of plutonium ($^{239,240}\text{Pu}$), redistribution in the ecosystem components, radioecological assessment of the sea areas situation, biogeochemical and equidosimetric criterions, Black Sea.

Использование атомной энергии в мирных и военных технологиях влечет за собой плановое и непредвиденное (аварийное) поступление в природные экосистемы техногенных радионуклидов, к которым относятся в современный период альфа-излучающие радионуклиды плутония $^{239,240}\text{Pu}$. Долгоживущие $^{239,240}\text{Pu}$ (период полураспада 24110 и 6563 лет) – долговременный радиоэкологический фактор, их количество в окружающей среде от инцидента к инциденту увеличивается, поэтому одной из основных задач радиоэкологии является изучение закономерностей перераспределения радионуклидов плутония в экосистемах в зависимости от условий в самих экосистемах и природы радионуклидов.

Целью нашего исследования было изучение закономерностей перераспределения альфа-радионуклидов плутония $^{239,240}\text{Pu}$ и определение количественных параметров этих процессов в экосистемах Черного моря, как внутреннем меромектическом водоеме, попавшем в зону радиоактивного загрязнения в период после аварии в 1986 г. на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), для оценки радиоэкологической ситуации в его акваториях.

В результате радиоэкологического мониторинга, с 1986 по 2015 гг., в экосистемах Черного моря было изучено распределение $^{239+240}\text{Pu}$, преимущественно, в северо-западной и центральной частях моря, прибрежных акваториях Крымского полуострова, в Севастопольской бухте [1, 2], а также в сравнительном плане в 2003 г. в Средиземном море и Пригибралтарском районе Атлантического океана [3].

Полученные результаты свидетельствовали, что уровни загрязнения $^{239+240}\text{Pu}$ в Черном море на несколько порядков ниже радиационных санитарных норм – предельно-допустимых концентраций (ПДК) в воде и биоте (рис.1).

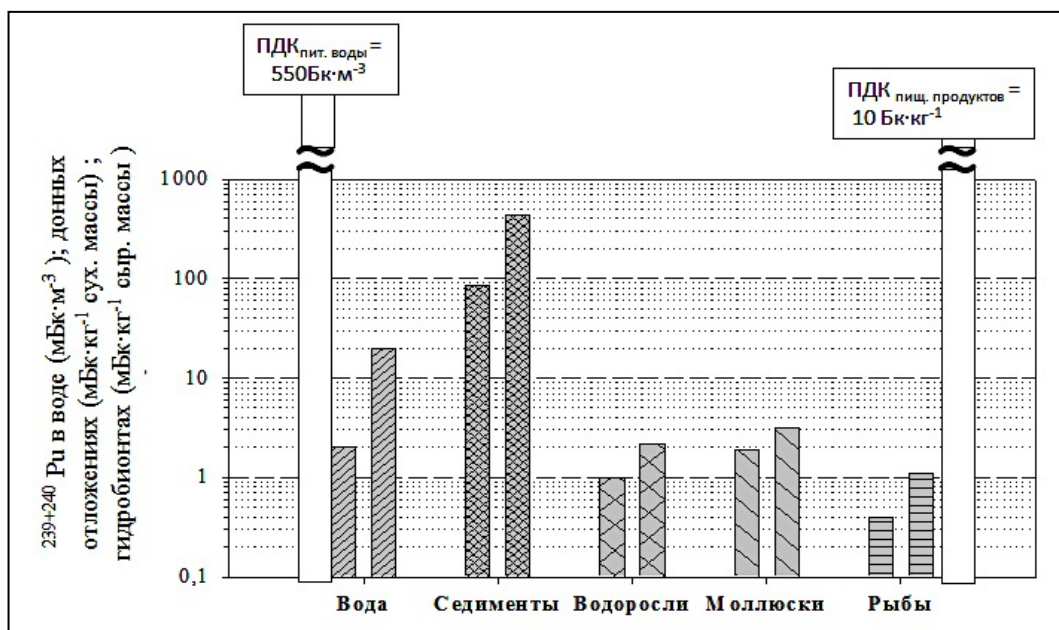


Рисунок 1. Максимальные и минимальные значения удельных активностей абиотических и биотических компонентов черноморских экосистем в отношении $^{239+240}\text{Pu}$

Низкие величины удельных активностей природных компонентов черноморских экосистем по $^{239+240}\text{Pu}$ позволили использовать эти техногенные радионуклиды в качестве радиоактивных трассеров, для изучения процессов, происходящих в морских биогеоценозах.

Основное количество радиоактивного загрязнения черноморского происхождения поступило в Черное море с атмосферными выпадениями и речным стоком в ранний период после аварии [1]. В дальнейшем поступление радионуклидов было незначительным. Со временем удельная активность поверхностных черноморских вод в отношении плутония снижалась. Этот процесс носил экспоненциальный характер, что позволило определить эффективный период полууменьшения плутония в поверхностных водах ($T_{\text{эф}1/2}$), который составил 4 ± 2 года [3], что значительно ниже, чем таковой для средиземноморских вод. Так как плутоний – поливалентный сорбционно-активный элемент, преимущественно связывающийся со взвесью, то более высокий трофный статус черноморских вод (в основном мезотрофный) и наличие барьерных зон в море на стыке морских и пресных вод и на границе редокс зоны, где происходит изменение физико-химических форм как плутония так и элементов, с которыми он соосаждается (марганец и железо), а также восстановительные условия в глубинных сероводородных водах Черного моря, которые способствуют усилению связи плутония с частицами взвеси, обусловили его более короткий $T_{\text{эф}1/2}$ по сравнению с таковым (13 лет) для вод Средиземного моря [4,3], которое является олиготрофным водоемом с окислительной толщей вод. Отличие перераспределения $^{239+240}\text{Pu}$ между основными абиогенными компонентами в Черном и Средиземном море также указывало на специфику биогеохимического поведения плутония в Черном море. В Черном море 89,7% плутония сосредоточено в донных отложениях, в воде – 10,3 %. А в Средиземном море в донных отложениях – 4,9 %, в воде – 95,1 %. Более быстрое и полное перераспределения $^{239+240}\text{Pu}$ в донные осадки в Черном море привело к тому, что вынос $^{239+240}\text{Pu}$ с черноморскими водами превышал его поступление со средиземноморскими водами через пролив Босфор только в первые 6-10 лет после аварии на ЧАЭС. В дальнейшем поток плутония в Черное море со средиземноморскими водами стал превышать его вынос.

На основе знания радиоэкологических закономерностей и их количественных параметров радиоэкология призвана решать проблемы экологической радиационной безопасности экосистем. Она включает определение экологической емкости экосистем, самоочи-

щающей способности вод, в частности, их фотического слоя, как наиболее деятельного слоя в морских экосистемах, определение биогеохимических критериев экологического нормирования поступления радиоизотопов в морскую экосистему, что составляет, так называемый, миграционный аспект проблемы радиационной безопасности экосистем. Вторым неотъемлемым аспектом данной проблемы служит радиационный аспект. Он тесно связан с миграционными процессами, но включает в себя оценку воздействия разных уровней загрязнения на биоту морских экосистем. Для радиоактивного загрязнения – это определение дозовых нагрузок от ионизирующего излучения радиоизотопов на гидробионты и уровней их экологического воздействия на морские организмы на основе эквидозиметрического сравнительного анализа.

Было проведено определение и анализ количественных параметров радиоэкологических процессов в черноморских экосистемах в отношении $^{239+240}\text{Pu}$ [1-3] и сделана оценка выноса из поверхностных черноморских вод $^{239+240}\text{Pu}$ с седиментационными потоками в донные отложения, с водными массами, и потоками аккумуляции многолетними гидробионтами. Сравнение относительного вклада этих потоков в процессы перераспределения $^{239+240}\text{Pu}$, указало на ведущую роль потока седиментационного выноса $^{239+240}\text{Pu}$ из поверхностного фотического слоя вод. Его доля в суммарном потоке самоочищения вод составила около 99%. Поэтому именно седиментационный поток $^{239+240}\text{Pu}$ был выбран в качестве биогеохимического критерия оценки радиоэкологической ситуации в акватории в отношении $^{239+240}\text{Pu}$ в черноморских экосистемах. Это позволило разработать схему оценки радиоэкологической ситуации акваторий при разных исходных концентрациях активности $^{239+240}\text{Pu}$ в морской воде (рис. 2), где $S_{\text{в допустимая}}$ – концентрация активности $^{239+240}\text{Pu}$ в воде, рассчитываемая для наиболее радиочувствительных видов гидробионтов с максимальной аккумуляционной способностью в отношении $^{239+240}\text{Pu}$. Предел безопасной дозовой нагрузки для этих гидробионтов может достигаться при концентрациях ниже ПДК, т.е. ведет к формированию в гидробионтах мощности дозы, превышающей безопасный предел, принятый МАГАТЭ, составляющий 4 Гр/год, превышение которого вызывает негативные изменения в популяциях гидробионтов [1].

В основу эквидозиметрической оценки уровня экологического воздействия $^{239+240}\text{Pu}$ на черноморскую биоту было положено определение дозовых нагрузок на гидробионтов. Затем, используя полученные мощности доз, проводили зонирование ожидаемого воздействия на водные организмы с применением разработанной Г.Г. Поликарповым «Концептуальной радиохемозоэкологической модели зональности хронического действия мощностей доз ионизирующих излучений на объекты биосферы» [1]. Концептуальная модель включает в себя также дозовый критерий – безопасный предел мощностей доз, принятый МАГАТЭ. После зонирования воздействия определяли текущую радиоэкологическую ситуацию в акватории и рассчитывали пограничные концентрации активности для каждой зоны Поликарпова, а также $S_{\text{в допустимая}}$. Для сохранения полноценного функционирования экосистем соотношение $\Sigma\Pi1$ и $\Sigma\Pi2$ не должно достигать условий пункта 3.2 (рис.2).

Таким образом, на базе изучения ведущих процессов, определяющих перераспределение техногенных $^{239,240}\text{Pu}$ в Черном море, их количественных характеристик, выявлены основные радиоэкологические закономерности поведения $^{239+240}\text{Pu}$ в море. Это предоставило возможность сформировать научно обоснованную схему-алгоритм прогнозных оценок радиоэкологической ситуации в морских акваториях в широком диапазоне удельных активностей $^{239+240}\text{Pu}$ в морской воде по биогеохимическим и эквидозиметрическим критериям.



Рисунок 2. Схема оценки экологической ситуации черноморских акваторий по биогеохимическим и эквидозиметрическим критериям в отношении радионуклидов плутония, где П1 – поток поступления $^{239+240}\text{Pu}$, П2 – поток выноса $^{239+240}\text{Pu}$, Св – концентрация активности $^{239+240}\text{Pu}$ в воде

Литература

1. Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Под ред. Г.Г. Поликарпова и В.Н. Егорова. – Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2008. – 667 с.
2. Tereshchenko N.N., Mirzoyeva N.Yu., Gulín S.B., Milchakova N.A. Contemporary radioecological state of the North-western Black Sea and the problems of environment conservation // Marine Pollution Bulletin. 2014. – V. 81, № 1. – P. 7–23.
3. Н.Н. Терещенко, С.Б. Гулин, В.Ю. Проскурин Радиоэкологические закономерности перераспределения альфа-радионуклидов плутония в экосистеме Черного моря // Морской биологический журнал. – 2016 – Т. 1, № 3. – с. 3–13.
4. Worldwide Marine Radioactivity Studies (WOMARS). Radionuclide Levels in Oceans and Seas. – Vienna: IAEA, 2005. – 187 p.

УДК 551.589.1.

ВЛИЯНИЕ МЕНЯЮЩИХСЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЧЁРНОГО МОРЯ

Ткаченко Ю.Ю.* , Денисов В.И.**

*Территориальный центр мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, г. Краснодар, Россия

**Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация. Рассмотрено влияние меняющихся климатических условий на экологическое состояние прибрежной зоны Чёрного моря. Отмечены положительные тенденции роста температур поверхностного слоя моря и количества выпадающих осадков, что приводит к увеличению стока Кавказских рек и распреснению поверхностных вод прибреж-